

А. И. Папченков^{*}, Д. Р. Даминов, Е. Ю. Павлюк, В. А. Мунц

^{*} ООО «УГМК-Холдинг», г. Екатеринбург

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

v.a.munts@urfu.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОСИФОНОВ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Работа направлена на изучение переходных процессов в термосифонах. Получены расчетные зависимости для определения основных температурных характеристик объекта регулирования. Для этого были определены термические сопротивления основных элементов термосифона. Предложены уравнения для расчета изменения температуры насыщения в термосифоне в зависимости от конструктивных и режимных параметров теплоутилизатора.

Ключевые слова: *термосифон; термическое сопротивление; конвективный газоход.*

A. I. Papchenkov^{*}, D. R. Daminov, E. Yu. Pavlyuk, V. A. Munts

^{*} LLC "UGMK-Holding", Ekaterinburg

Ural Federal University, Ekaterinburg

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMOSYPHONES AT HEAT OF FLUE GASES UTILIZATION

The work is aimed at studying transients in thermosyphons. The calculated dependencies for determining the main temperature characteristics of the control object are obtained. Therefore, the thermal resistances of the main elements of the thermosyphon were determined. The equations for calculating the saturation temperature in thermosyphon depending on the design and operating parameters of the heat exchanger are proposed.

Key words: *thermpsyphon; thermal resistance; flue duct.*

Замкнутые двухфазные термосифоны за последнее десятилетие зарекомендовали себя во многих областях промышленности как

высокоэффективные, надежные теплопередающие устройства благодаря сочетанию ряда уникальных свойств: простоты изготовления, отсутствия движущихся частей и потребности в перекачивании теплоносителя, возможности создания изотермических условий на больших площадях и значительной теплопередающей способности.

Работа выполнена на медеплавильном комбинате «Святогор», г. Красноуральска, на установке для утилизации теплоты за отражательной печью № 2 (рис. 1).

Термосифон представляет собой наглухо заваренную с обеих сторон трубку, на треть заполненную водой. Часть трубки находится в «горячей» области, где ее омывают газы, вследствие чего вода в термосифоне нагревается, закипает, и идет в верхнюю «холодную» часть, конденсатор, представляющий собой теплообменник «труба в трубе», роль охладителя в котором играет вода из барабана сепаратора. Термосифон нагревает ее до температуры насыщения, пар, идет на производство.

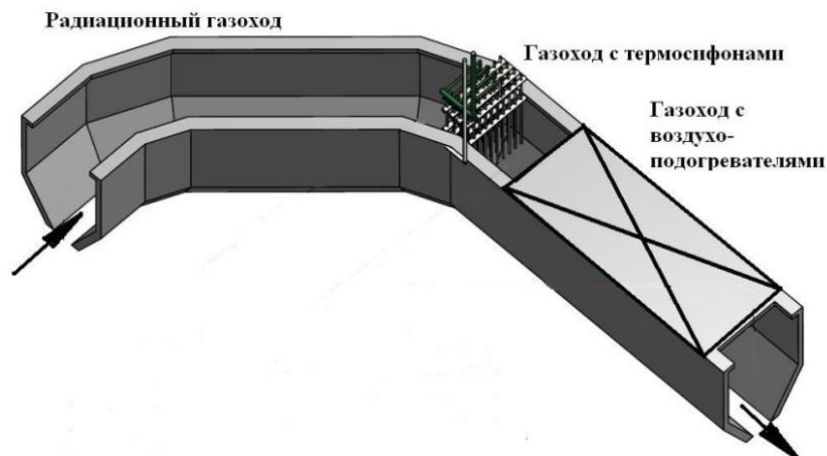


Рис. 1. Схема установки котла утилизатора за печью № 2

В данной работе сделана попытка рассмотреть работу термосифона как объекта системы автоматического регулирования с определением основных параметров объекта экспериментальным и расчетным путем. Для этого необходимо получить уравнение объекта. В данном случае это уравнение изменения температуры

насыщения в термосифоне во времени в зависимости от режимных и конструктивных параметров термосифона.

Рассмотрим работу отдельного термосифона, осуществляющего передачу теплоты между двумя средами: газом с температурой t_{Γ} и кипящей водой в барабане котла t_6 .

Теплота от газов с температурой t_{Γ} последовательно передается сначала к внешней поверхности испарителя тепловой трубы с t_1 , затем теплопроводностью по стенке к внутренней поверхности, имеющей температуру t_2 . На внутренней поверхности происходит кипение жидкости термосифона, при котором за счет скрытой теплоты парообразования осуществляется передача тепловой энергии кипящей воде с температурой насыщения $t_{\text{н}}$. В зоне охлаждения теплота от пара за счет его конденсации передается внутренней поверхности трубы участка охлаждения, температура которой t_3 . Затем происходит перенос теплоты к внешней поверхности с t_4 и к нагреваемой среде (кипящей в барабане воде) с температурой t_6 .

Для дальнейшего расчета необходимо определить суммарное термическое сопротивление теплового потока $R = \sum_{i=1}^6 R_i$.

В первом приближении можно считать, что температура насыщения и температура стенки термосифона в зоне испарения близки. Тогда можно записать, в упрощенном виде, уравнение для изменения температуры насыщения в термосифоне при изменении температуры газов в котле-утилизаторе

$$(M_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}} + M_{\text{в}} \cdot c_{\text{в}}) \frac{dt_{\text{н}}}{d\tau} = \frac{(t_{\Gamma} - t_{\text{н}})}{R_{\text{и}}} - \frac{(t_{\text{н}} - t_6)}{R_{\text{к}}}, \quad (1)$$

здесь $R_{\text{и}}$ и $R_{\text{к}}$ – суммы термических сопротивлений в зоне испарения и конденсации.

Учитывая, что произведение суммарных термических сопротивлений в зоне испарения и конденсации можно представить как произведение соответствующей поверхности и коэффициента теплопередачи $R_{\text{и}} = k_{\text{и}} \cdot F_{\text{и}}$, $R_{\text{к}} = k_{\text{к}} \cdot F_{\text{к}}$, то уравнение (1) можно представить в виде

$$(M_M \cdot c_M + M_B \cdot c_B) \frac{dt_H}{d\tau} = k_H \cdot F_H \cdot (t_\Gamma - t_H) - k_K \cdot F_K \cdot (t_H - t_6). \quad (2)$$

В начальный момент времени равный $\tau = 0$, в стационарном состоянии, температура насыщения находится из условия $dt / d\tau = 0$. Откуда определяется начальная температура насыщения

$$t_{H,0} = \frac{k_H \cdot F_H \cdot t_{\Gamma,0} + k_K \cdot F_K \cdot t_6}{k_H \cdot F_H + k_K \cdot F_K}. \quad (3)$$

Пусть далее температура газов скачком изменяется до значения t_Γ , при этом с течением какого-то времени изменится и температура насыщения t_K в термосифоне до конечного значения равного

$$t_K = \frac{k_H \cdot F_H \cdot t_\Gamma + k_K \cdot F_K \cdot t_6}{k_H \cdot F_H + k_K \cdot F_K}. \quad (14)$$

Расчеты изменения температуры насыщения в термосифоне были проведены для блока термосифонов, установленных в конвективном газоходе за металлургической печью на предприятии «Святогор» при следующих условиях: начальная температура газа $t_{\Gamma,0} = 900$ °С, конечная температура газа $t_{\Gamma,K} = 1000$ °С. Результаты расчетов представлены на рис. 2, из которого следует, что при ступенчатом изменении температуры газов продолжительность переходного процесса составляет около 10 минут.

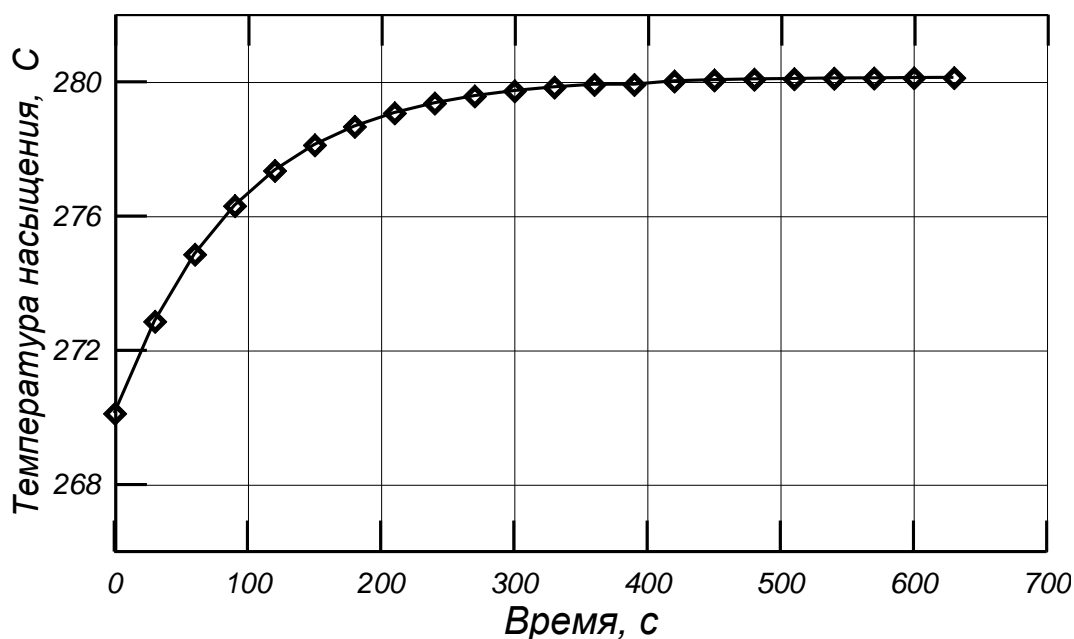


Рис. 2. Изменение температуры насыщения в термосифоне при ступенчатом увеличении температуры газов от 900 до 1000 °С

Получены расчетные характеристики (постоянные времени и коэффициент усиления) термосифона как объекта регулирования при ступенчатом возмущении изменением температуры газов.

На величину постоянной времени основное влияние оказывает массовая теплоемкость металла термосифона и воды в нем, а также произведение коэффициентов теплопередачи и площади поверхности в зоне испарения и конденсации.

Результаты исследования показали совпадение экспериментальных данных с расчетными даже при замене линейного возмущения расходом газов ступенчатым.